

Проведены исследования и анализ спектральных параметров современных разрядных ламп сверхвысокого давления с короткой дугой. Предложены рекомендации по эффективно-му использованию этих ламп в различных условиях.

УДК 621.327

**С.С.Овчинников**, д-р техн. наук,  
**А.В. Сапрыка**, канд. техн. наук,  
**В.Н. Полищук**, канд. техн. наук  
 Харьковская национальная академия  
 городского хозяйства  
**В.И. Степура**, канд. техн. наук  
 Национальный авиационный университет

## ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИЗЛУЧЕНИЯ РАЗРЯДНЫХ ЛАМП СВЕРХВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Ртутные лампы сверхвысокого давления являются источниками излучения высокой яркости в видимой и ультрафиолетовой областях света. Лампы, особенно большой мощности, могут работать в широком диапазоне изменения режимов питания [1,2], что необходимо для оптимизации режимов работы различных технологических и осветительных установок [3-5]. При изменении вводимой мощности происходит перераспределение излучения разрядных ламп по спектру, что приводит к неодинаковому изменению эффективности воздействия излучения на фоточувствительные материалы и приемники с различной спектральной чувствительностью, а так же световой отдачей.

Целью работы является исследование спектральной эффективности излучения разрядных ламп сверхвысокого давления при оптимизации режимов работы и сохранении достаточной долговечности.

В работе приведены результаты исследования относительной эффективности воздействия излучения разрядных ламп на приемники с различными спектральными характеристиками и спектрального распределения излучения при изменении мощности, подводимой к лампе.

Оценка спектральной эффективности излучения источников  $\Phi_{эф}$  для приемников с различными функциями относительной спектральной чувствительности  $s(\lambda)$  производилось по уравнению:

$$\Phi_{эф} = \int \varphi_e(\lambda) s(\lambda) d\lambda, \quad (1)$$

где  $\varphi_e(\lambda)$  – нормированная спектральная плотность излучения –  $\int \varphi_e(\lambda) d\lambda = 1$ .

Для оценки спектральной эффективности излучения ламп при изменении мощности необходимо исследовать спектральный состав излучения в различных режимах. В описываемых ниже экспериментальных исследованиях для этой цели использовались различные методики.

Спектральный состав излучения исследовался с помощью дифракционного монохроматора МСД-2, позволяющего производить исследования в диапазоне от 200 до 800 нм. В качестве опорного источника излучения применялись светоизмерительные лампы типа ТРШ-2850-3000 и СИ-10-300 с ленточным телом накала.

Для оперативного контроля точности спектральных измерений и воспроизведения спектральных величин (спектральной плотности излучения, спектральной плотно-

сти яркости, цветовой и яркостной температуры) разработан стенд, включающий в себя лампу с ленточным телом накала, источник питания и измеритель электрических параметров лампы.

Для обеспечения воспроизведения спектрального распределения при различных температурах стенд укомплектован пирометром типа ЛОП-76. Необходимость этого вызвана тем, что система госповерки обеспечивает поверку лампы ТРШ-2850-3000 при двух значениях цветовой температуры 2850 К и 3000 К. Пирометр обеспечивает возможность воспроизведения цветовой (яркостной) температур тела накала лампы в значительно более широком температурном диапазоне от 900 К до 3000 К с периодическим контролем градуировки пирометра по двум вышеуказанным значениям температуры.

Для измерения спектральной чувствительности различных приемников излучения были специально отобраны 5 приемников излучения ФД-24К, интегральная и спектральная чувствительность была измерена в соответствии с ГОСТ-17772-79.

Для проведения исследований была разработана установка, в которой регистрация излучения, прошедшего через монохроматор, производилась фотоэлектронным умножителем. Сигнал с ФЭУ подавался на осциллограф С8-13, развертка луча которого была синхронизирована с изменением длины волны. Масштаб длин волн составлял 5 нм/см или 10 нм/см. Привязка шкалы длин волн производилась по линиям излучения ртути.

На рис. 1 приведены осциллограммы спектров излучения ламп сверхвысокого давления в режимах повышенной, пониженной и номинальной мощности.

Оцифровка осциллограмм производилась в программе Graf, а их обработка – на ПК в программе Excel. Для получения относительного распределения спектральной плотности излучения от длины волны производилась градуировка чувствительности тракта оптическая система – монохроматор – фотоумножитель по светоизмерительной лампе с ленточным телом накала, относительная спектральная плотность излучения которой была определена с достаточной точностью (погрешность относительной спектральной плотности излучения не более  $\pm 5\%$ ). Для градуировки были получены осциллограммы спектра излучения лампы с ленточным телом накала (СИ10-300).

Спектральная плотность излучения определялась по соотношению:

$$\varphi_x(\lambda) = \frac{u_{осц\ x}(\lambda) \cdot \varphi_{e\ cu}(\lambda)}{u_{осц\ cu}(\lambda)}. \quad (2)$$

Однако в абсолютных значениях спектральную плотность излучения таким путем с достаточной точностью получить нельзя из-за сложного пространственного распределения излучения сравниваемых источников. Поэтому целесообразно спектральное распределение получить в относительных единицах, а количественную привязку проводить по интегральным измерениям фотометрических параметров аттестованными приборами традиционными методами.

Спектральная плотность излучения в относительных единицах определим следующим образом:

$$\varphi_e(\lambda)_{отн} = \frac{\varphi_e(\lambda)}{\varphi_e(\lambda)_{\max}}, \quad (3)$$

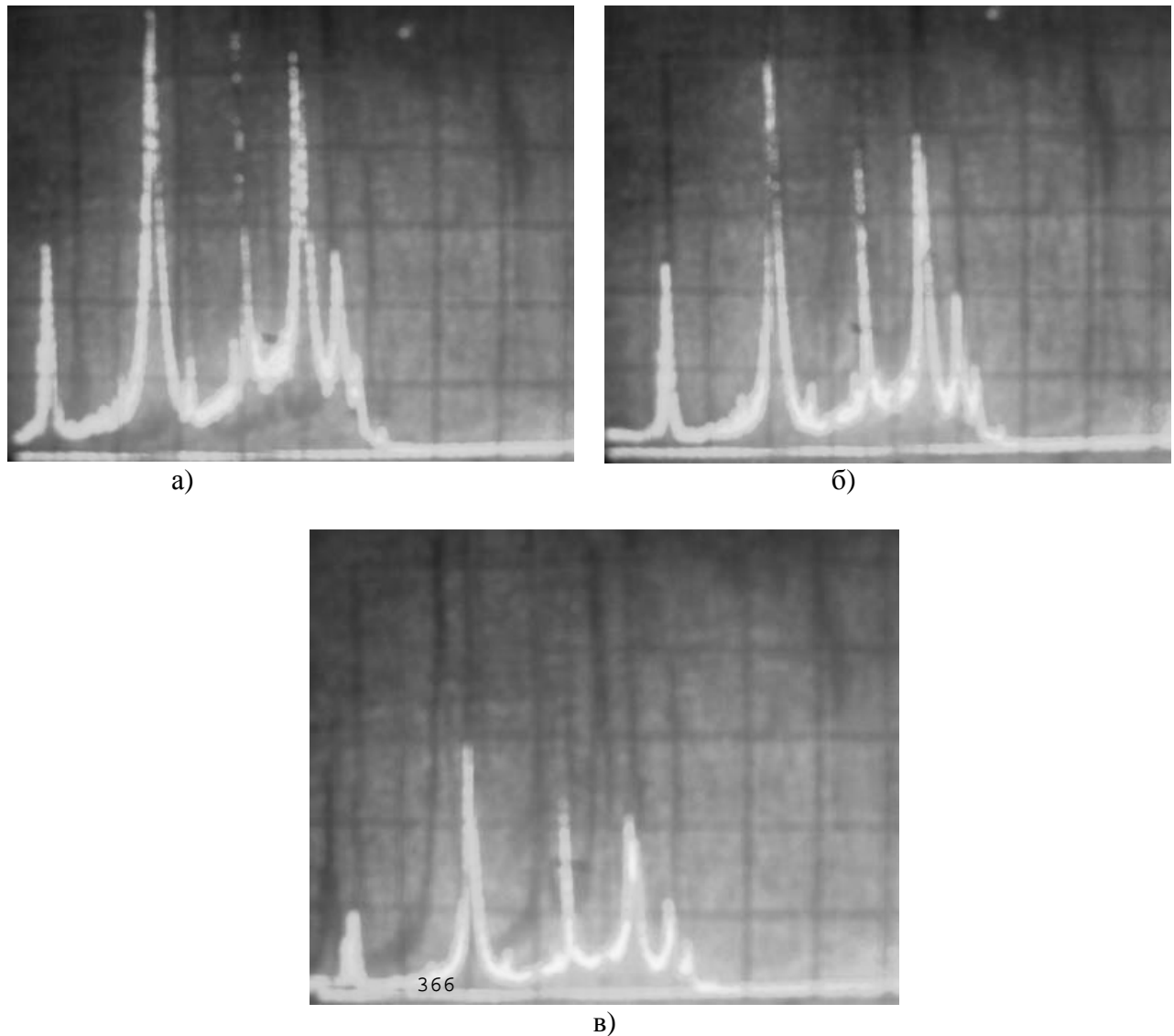


Рис. 1. Спектр излучения ДРШ -600 в диапазоне 220-420 нм; (осциллограммы сигнала с ФЭУ монохроматора от длины волны, развертка 10 нм/дел):  
а – номинальный режим 600 Вт; б – 1025 Вт; в – 440 Вт.

где  $\Phi_e(\lambda)_{\max}$  – максимальное или на какой-нибудь характерной длине волны значение спектральной плотности излучения, полученное из соотношения (2).

Оценка эффективности воздействия излучения на фоточувствительные материалы с различной функцией относительной спектральной чувствительностью от мощности, производилась по следующей методике.

Осциллограммы сигнала с ФЭУ монохроматора оцифровывались на ПК по значениям максимальной яркости луча, либо по цветности (фотографии осциллограмм, полученные цифровой фотокамерой с экрана осциллографа С8-13, имеют ярко выраженный зеленый цвет). А след луча содержит все три КЗС компоненты и в ряде случаев оцифровка по цвету луча дает меньший статистический разброс.

Результаты оцифровки этими методами дают близкие результаты (в пределах визуальной оценки ширины луча на экране осциллографа). Было установлено, что точность оцифровки осциллограмм на ПК несколько выше точности визуальных измерений, т.к. статистический разброс оцифровки на ПК в 2-3 раза ниже визуальной и

меньше визуальной толщины луча осциллографа, которая составляет 0,8 – 1 мм. При рабочем отклонении луча 40мм погрешность визуального отсчета не менее 2,5%, а при оцифровке на ПК не более 1÷1,5%.

После оцифровки обработка результатов измерения велась по следующему алгоритму.

Спектральная плотность энергетической светимости равна:

$$m_{ex}(\lambda) = \frac{u_{osci.x}(\lambda) \cdot m_{ecu}(\lambda)}{u_{cu}(\lambda)}, \quad (4)$$

где  $u_{osci.x}(\lambda)$  – сигнал с осциллографа от исследуемого источника излучения,  $u_{cu}(\lambda)$  – то же от светоизмерительной лампы,  $m_{ex}(\lambda)$  и  $m_{ecu}(\lambda)$  – спектральная плотность энергетической светимости исследуемого источника и светоизмерительной лампы соответственно.

Так как с достаточной точностью в абсолютных значениях величину  $m_{ex}(\lambda)$  получить сложно, то целесообразно привести ее к относительным величинам, а к абсолютным приводить по измерениям фотометрических величин, например, силы света, яркости и др. аттестованными приборами, либо косвенными методами.

Спектральную плотность измеряемой величины в относительных величинах  $m_{e\text{отн.}x}$  можно определить по соотношению:

$$m_{e\text{отн.}x} = \frac{\frac{u_{osci.x}(\lambda) \cdot m_{ecu}(\lambda)}{u_{cu}(\lambda)}}{\left[ \frac{u_{osci.x}(\lambda) \cdot m_{ecu}(\lambda)}{u_{cu}(\lambda)} \right]_{\max}}. \quad (5)$$

Для перехода к абсолютным значениям необходимо измерить любую фотометрическую величину  $A$  в световой системе единиц. Тогда можно записать равенство:

$$A = a_{e\lambda 0} \cdot 683 \int_{\lambda=380\text{нм}}^{\lambda=770\text{нм}} m_{e\text{отн}}(\lambda) V(\lambda) d\lambda, \quad (6)$$

где  $a_{e\lambda 0}$  – спектральная плотность фотометрической величины  $A$ , измеряемой фотометром в максимуме (или на какой-нибудь конкретной длине волны).

Через измеренное значение  $A$  можно определить  $a_{e\lambda 0}$ :

$$a_{e\lambda 0} = \frac{A}{683 \sum_{i=1}^n m_{e\text{отн}}(\lambda) V(\lambda) \Delta\lambda}. \quad (7)$$

Тогда спектральная плотность величины  $A$ :

$$a_e(\lambda) = a_{e\lambda 0} \cdot m_{e \text{ отн } \lambda} \cdot \quad (8)$$

В некоторых случаях для сравнения спектральной эффективности излучения для различных фоточувствительных материалов при изменении режимов работы ламп достаточно ограничиться относительными значениями спектральной плотности излучения.

Обработка экспериментальных данных была проведена по программам, разработанным на основе программ Excel и Mathcad (табл. 1).

В результате обработки спектров излучения построены зависимости относительных изменений спектральных потоков излучения в областях интенсивных линий ртути опытной лампы ДРШ-600 от мощности (рис. 2). Анализ зависимости показывает, что скорости изменения интенсивности отдельных линий существенно различаются.

Исследование изменения спектров излучения ламп позволяет определить изменение эффективных потоков для фотоприемников с различной спектральной чувствительностью.

По полученным результатам спектральных измерений рассчитаны эффективные потоки для приемников с выбранной спектральной чувствительностью для различной мощности. На рис.3 приведены зависимости эффективных потоков лампы ДРШ-600 для различных фотохимических материалов от мощности. Приведенные зависимости показывают, что при увеличении мощности для материалов с повышенной чувствительностью в коротковолновой области спектра эффективные потоки растут на 5-60% по сравнению с номинальным режимом (ПВЦ, ортохром, НХДА, несенсибилизированная фотоэмульсия). Световая эффективность выше номинальной только в интервале 600-680 Вт, и при дальнейшем увеличении мощности снижается на 10-15%.

Таблица 1. Относительные изменения спектральных потоков излучения в областях интенсивных линий ртути опытной лампы ДРШ-600 от мощности

	Мощность			
	$P_{ном}$ (600±5% Вт)	(440±5% Вт)	(800±5% Вт)	(1025±5% Вт)
Сумма линий	18,2	9,52	23,23	28,3
Сумма 1-го пика (405 нм)	1,62	0,684	2,01	2,26
Сумма 2-го пика (366 нм)	5,164	2,62	6,29	7,55
Сумма 3-го пика (334 нм)	2,77	1,635	4,09	5,6
Сумма 4-го и 5-го пика (313, 302 нм)	6,64	3,15	8,56	10,27

Таким образом, результаты экспериментов показывают, что при повышении мощности относительная спектральная эффективность может быть увеличена до 60% в зависимости от функции относительной спектральной чувствительности фотоматериалов.

Разработанная методика и полученные данные позволяют рассчитывать спектральную эффективность излучения для фоточувствительных материалов с любой функцией относительной спектральной эффективности, данные по которой могут быть получены из справочных данных, либо определены экспериментально.

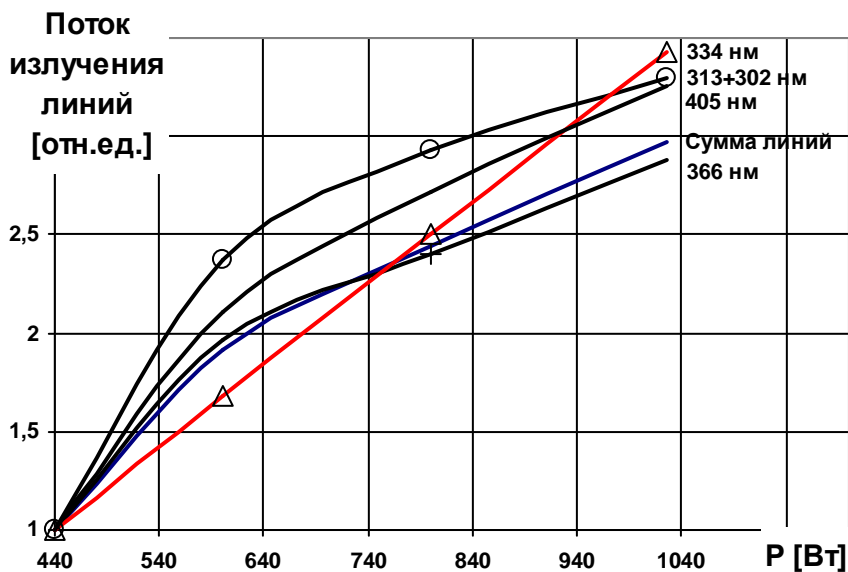


Рис.2. Зависимости относительных изменений спектральных потоков излучения в областях интенсивных линий ртути лампы ДРШ-600 от мощности.

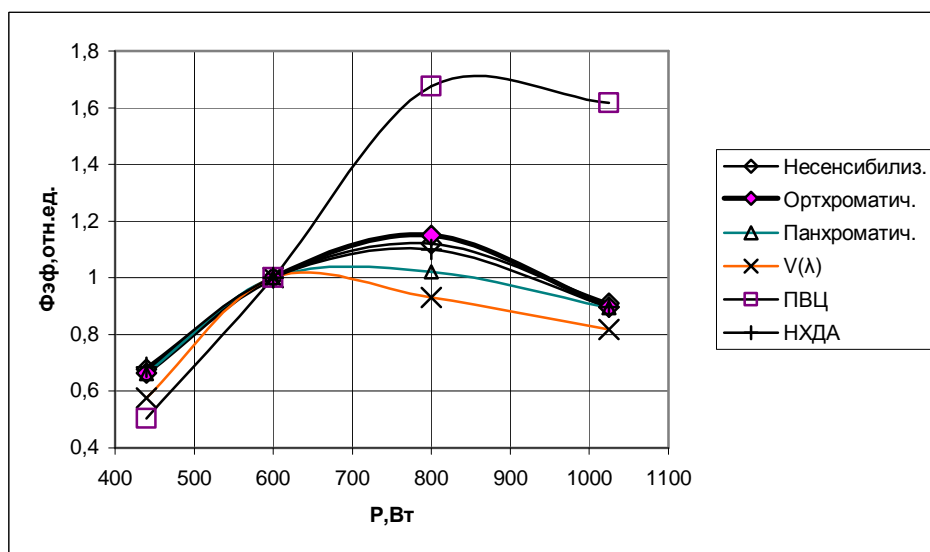


Рис.3. Зависимости эффективных потоков лампы ДРШ-600 для различных фотохимических материалов от мощности.

Сравнительный анализ излучения разрядных ламп показал, что эффективность воздействия ламп различного типа зависит от спектрального состава излучения и функции относительной спектральной чувствительности материала.

Поток излучения УФ области спектра растет практически линейно с увеличением мощности, вводимой в лампу, а максимальная спектральная плотность излучения  $\varphi_{e\max}(\lambda)$  до некоторого значения мощности растет, проходит через максимум и затем начинает уменьшаться.

Разработаны методики исследования и устройства для их реализации.

## Литература

1. Газоразрядные Рохлин Г.Н Источники света -2-е изд. Перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1991г. – 720 с
2. Ртутные лампы высокого давления. Под ред. И.М. Весельницкого, Г.Н. Рохлина. – М.: Энергия, 1971 – 328с.
3. Лебедева В.В. Техника оптической спектроскопии. Под.ред. проф. В.А.Королева. – М.: Издательство Московского университета, 1997. – 383 с.
4. Облучательные установки фотофизического и фотохимического действия / Матвеев А.Б., Лебедкова С.М. / Под ред. В.И.Петрова. – М.: Изд-во МЭИ, 1996. – 69 с.
5. Кожушко Г. М., Кислиця С. Г. Шляхи підвищення світлотехнічних характеристик натрієвих ламп // Світлолюкс. – 2004. – №1.- С. 36-38.

---



---

ДОСЛІДЖЕННЯ СПЕКТРАЛЬНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИПРОМІНЮВАННЯ  
РОЗРЯДНИХ ЛАМП НАДВИСОКОГО ТИСКУ

С.С.Овчинніков, А.В. Саприка, В.Н. Поліщук, В.І Степура

*Проведення дослідження та аналізу спектральних параметрів сучасних розрядних ламп надвисокого тиску з короткою дугою. Запропоновано рекомендації з ефективного використання цих ламп у різних умовах.*

RESEARCH OF RADIATION SPECTRAL EFFICIENCY  
OF DIGIT LAMPS ULTRAHIGH PRESSURE

S.S.Ovchinnikov, A.V.Sapryka, V.N.Polischuk, V.I. Stepura

*Researches and analysis of modern digit lamps spectral parameters under ultrahigh pressure with a short arch are pursued. Recommendations on the lamps effective utilization in various conditions are given.*